

**Влияние процессов контактной теплопередачи на кинематику процесса прессования  
алюминиево-магниевого сплава**

Логинов Ю.Н.<sup>1</sup>, Антоненко Л.В.<sup>2</sup>

*1 - ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»,  
г.Екатеринбург, Россия,*

*2 - ОАО «Каменск-Уральский металлургический завод», г.Каменск-Уральский, Россия*

Считается, что процесс прессования сопровождается мягкой схемой напряженного состояния, поэтому с его помощью становится возможным обрабатывать материалы с невысоким уровнем пластичности. На этот факт обращал внимание большой круг исследователей [1-4].

Алюминиево-магниевые сплавы марок АМг2 и АМг3 относятся к группе высокотехнологичных, они допускают значительные скорости истечения (до 20...30 м/мин) и коэффициенты вытяжки до 80...90 [5]. Самый высоколегированный сплав АМг6 относится к труднодеформируемым, регламентируемые скорости истечения 2...4 м/мин, а коэффициенты вытяжек 30...40. Несмотря на эти ограничения, наружная поверхность труб часто поражается трещинами, что обычно объясняют недостаточно высокой пластичностью сплава в интервале температур горячей обработки. В данной работе сделана попытка прогноза возможности разрушения сплава в различных вариантах технологических параметров.

Реализована следующая постановка задачи. Прессованию подвергается полый слиток наружным диаметром 610 мм, внутренним диаметром 350 мм и длиной 1000 мм с получением трубы наружным диаметром 400 мм с толщиной стенки 40 мм.

Задача решалась методом конечных элементов с помощью программного модуля РАПИД – 2D, разработанного в Уральском государственном техническом университете – УПИ (Copyright © Полищук Е.Г., Жиров Д.С. 2000-2004) для решения задач пластического формоизменения вязких сред в осесимметричной постановке, схема очага деформации представлена на рис. 1.

Особенности применения упомянутой системы для решения задач прессования изложены в статье [6]. Угол наклона образующей матрицы к оси прессования принят равным 75°. Игла закреплена на пуансоне, на ее поверхности находится слой смазки, поэтому показатель трения равен 0,2, на поверхности контейнера и матрицы смазки нет, возможно налипание металла, поэтому показатель трения на этих поверхностях принят равным 1.

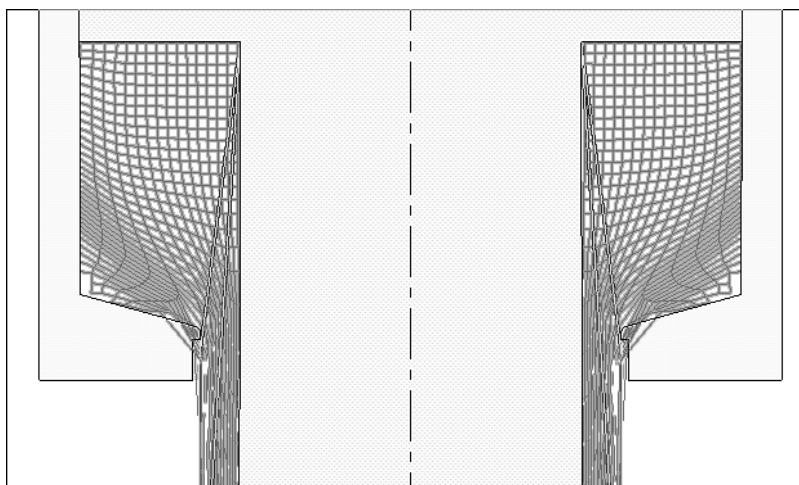


Рис. 1. Представление очага деформации в программном модуле РАПИД - 2D

На рис. 2 отображен фрагмент очага деформации вблизи калибрующего пояска матрицы. Линии равного уровня соединяют точки с одинаковыми значениями показателя напряженного состояния  $\sigma/T$ .

В глубине очага деформации ближе к пресс-шайбе показатель напряженного состояния достигает значений –14 и выше, поэтому можно сделать заключение о том, что разрушение вряд ли возможно внутри контейнера. Однако на уровне калибрующего пояска ситуация иная.

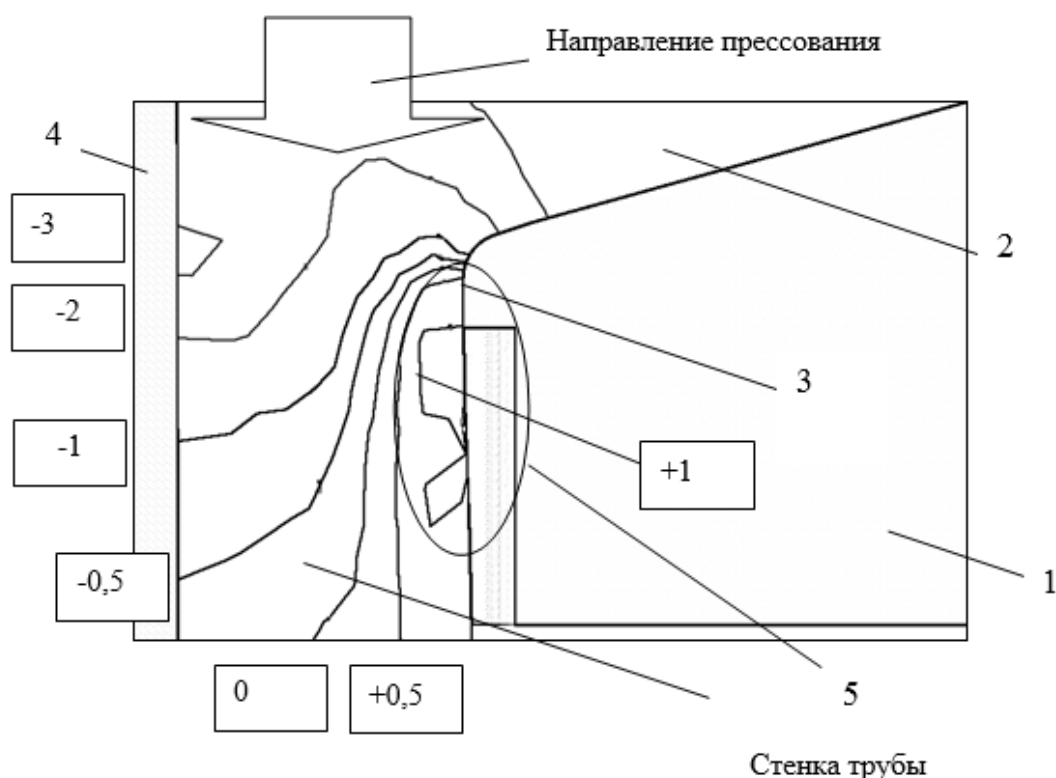


Рис. 2 Линии равного уровня распределения показателя напряженного состояния (числа в рамках) при прессовании трубы из алюминиевого сплава: 1 – контур матрицы; 2 – прессуемый металл; 3 – калибрующий пояс; 4 – игла; 5 – область действия растягивающих напряжений

Здесь показатель имеет умеренные значения в пределах  $-3,0 \dots +1,5$ . Естественно предположить, что трещинообразование возможно в областях с самым высоким значением  $\sigma/T$ , т.е. там, где наиболее высок уровень растягивающих напряжений. Эта область примыкает к месту выхода металла из калибрующего пояска матрицы, где максимальное значение показателя достигает величины 1,5, т.е. это значение соизмеримо и даже больше, чем характерно для условий растяжения цилиндрического образца при определении показателя относительного удлинения  $\delta$  в условиях однородной деформации ( $\sigma/T = +0,58$ ).

Для этого случая имеются измерения величины  $\delta$  для сплава АМг6, приведенные в источнике [7, с.25], но для их использования необходимо определиться с диапазоном температур, характерных для прессования указанного сплава. В книге [4, с. 104] приводятся данные о температурных условиях, в которых достигается отсутствие трещин при деформации сплава АМг6: диапазон  $500 \dots 505^\circ\text{C}$  является переходным от режима отсутствия поверхностных дефектов, возникающих по причине перегрева к режиму интенсивного трещинообразования. Сплав АМг6 относится к прочным алюминиевым сплавам, поэтому несмотря на опасность перегрева для снижения нагрузок на инструмент и на пресс при прессовании часто стараются придерживаться верхней границы температур.

Японские исследователи Gaku Torikaib, Ryutaro Ninob и Fusahito Yoshidab, работающие в Национальном колледже морских технологий и Хиросимском университете [8], выявили диапазоны термомеханических параметров обработки для достижения наилучшей пластичности сплавов системы алюминий-магний, но их данные справедливы только для мелкозернистых сплавов, уже прошедших интенсивную пластическую обработку.

В статье [9] отмечается, что такие сплавы как АМг6, АМг61 особенно нетехнологичны при свободной ковке, так как слитки разрушаются в процессе осадки. Поэтому ковку вынуждены вести из промежуточной заготовки, полученной прессованием с коэффициентом вытяжки не менее шести. В работе получали слитки с веерной структурой путем выстаивания расплава, из них вырезали образцы из зон веерных кристаллов и равноосных кристаллов. Результаты испытаний образцов из сплава АМг6 показали, что пластичность веерных кристаллов выше пластичности равноосных кристаллов, что объяснено более мелкими фазовыми составляющими и незначительной микропористостью. Разрушение образцов во всех случаях происходило в зонах скопления интерметаллических фаз, при этом не было выявлено случаев разрушения по плоскостям двойникования.

При температуре испытания 300 °С образуются дисперсные фрагменты субзерна, расположенные по границам зерен. С повышением температуры субзерна укрупняются. Дальнейшее повышение температуры до 450...500°С приводит к увеличению размера субзерен с образованием высокоугловых границ. Особенностью пластической деформации сплава АМг6 является то, что полосы скольжения локализуются в основном по границам зерен при всех температурах испытания. Таким образом, появления трещин на прессованных полуфабрикатах следует ожидать по границам зерен.

В интервале температур 450...500°С для сплава АМг6 в литом состоянии относительное удлинение  $\delta = 8...9\%$ , в гомогенизированном 19...20%, в деформированном состоянии 65...73% [7]. Как видно из этих данных, пластичность сплава в большой мере зависит от его состояния. Характеристики литого состояния важны для прогноза поведения слитка в состоянии распрессовки. На выходе из отверстия матрицы металл пластифицирован горячей обработкой, правда, достоверных сведений о пластичности металла сразу после горячего прессования не существует. Для определения  $\delta$  изготавливаются специальные образцы, которые повторно нагреваются, а перед этим массивная заготовка довольно медленно охлаждается, и в ней происходят процессы рекристаллизации, возврата и др. Таким образом, условия испытаний по определению пластичности не во всем соответствуют производственной обстановке.

В отличие от сплавов, обладающих свойством структурного упрочнения (авиалей, дюралюминов), сплавы алюминия с магнием находятся при прессовании в состоянии горячей деформации и вместо процессов возврата в них происходят процессы рекристаллизации. Температура начала рекристаллизации сплава АМг6 [5, с.88] составляет величину около 300°С, но может изменяться в зависимости от истории обработки металла на 20...30°С. Во всяком случае, температура нахождения слитка в контейнере и полуфабриката на выходе оказывается заведомо выше температуры начала рекристаллизации.

Возникновение трещин на наружной поверхности трубы можно пояснить еще одним

расчетом. На рис. 3 представлено распределение относительной осевой скорости  $\bar{v}_z = \frac{v_z}{v_{и}}$ ,

где  $v_z$  – осевая компонента вектора скорости;  $v_{и}$  – скорость истечения металла из отверстия матрицы.

Как видно из рисунка, линейные скорости нарастают к выходу из очага деформации неравномерно. На уровне калибрующего пояска частицы металла вблизи иглы перемещаются быстрее, чем частицы вблизи матрицы, при этом первые частицы пытаются увлечь за собой вторые, что и создает повышенный уровень растягивающих напряжений именно на наружной поверхности.

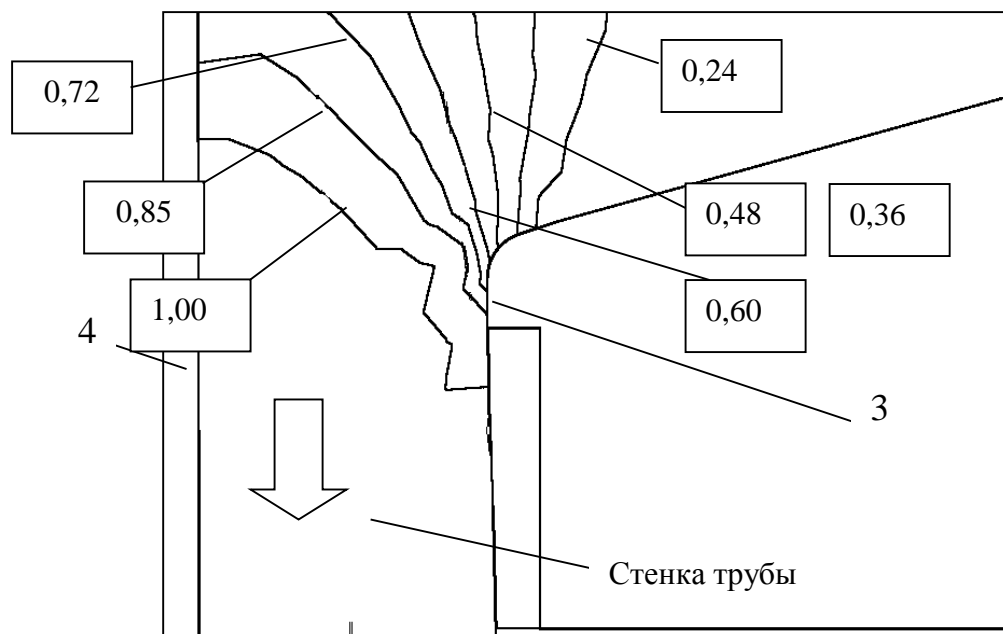


Рис. 3 Линии равного уровня распределения относительной осевой скорости (числа в рамках) при прессовании трубы из алюминиевого сплава (обозначения те же)

Дополнительным фактором, создающим условия для возникновения трещин, является повышенная степень деформации сдвига  $\Lambda$  периферийных слоев металла, примыкающих к наружной поверхности, о чем говорит график рис. 4.

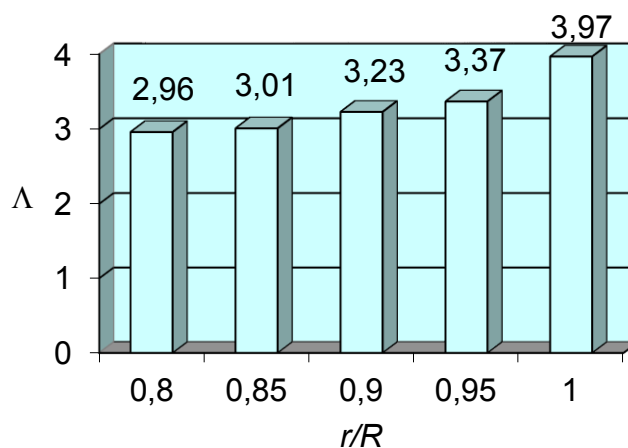


Рис. 4. Эпюра степени деформации сдвига, построенная вдоль относительного радиуса трубы

Из графика видно, что металл вблизи наружной поверхности имеет накопленную степень деформации примерно на 30 % больше, чем металл вблизи внутренней поверхности, что может провоцировать его разрушение.

## Выводы.

1. Причиной появления трещин на наружной поверхности труб из высоколегированных алюминиево-магниевого сплавов является неудовлетворительная пластичность и условия обработки.
2. Пластичность в производственных условиях повышается методами гомогенизации и правильного выбора термомеханических параметров процесса.
3. Конечно-разностными методами расчета вблизи наружной поверхности трубы на выходе из очага деформации выявлена зона действия растягивающих напряжений, что обусловлено неравномерным полем скоростей перемещений.
4. Необходимо предусмотреть меры по снижению уровня растягивающих напряжений, т.е. выравнивать скорости течения металла.
5. Для решения этой задачи необходимо либо затормозить перемещение слоев металла, примыкающих к внутренней поверхности трубы, либо ускорить перемещение периферийных слоев металла.
6. Для решения поставленной задачи необходимо пересмотреть подход к подбору и использованию смазок, а также проанализировать влияние конфигурации контактных поверхностей инструмента (иглы и матрицы).

## Литература

1. Перлин И.Л., Райтбарг Л.Х. Теория прессования металлов. М.: Металлургия, 1975. 448 с.
2. Бережной В.Л., Щерба В.Н., Батурин А.И. Прессование с активным действием сил трения. М.: Металлургия, 1988. 296 с.
3. Прессование алюминиевых сплавов (математическое моделирование и оптимизация) / Г.Я. Гун, В.И. Яковлев, Б.А. Прудковский и др. М.: Металлургия, 1974. 336 с.
4. Ерманок М.З., Каган Л.С., Головинов М.Ф. Прессование труб из алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1976. 248 с.
5. Алюминиевые сплавы. Структура и свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов: Справочник / Под ред. В.А. Ливанова. М.: Металлургия, 1974. 432 с.
6. Логинов Ю.Н., Мякошин В.И., Семенов А.П. Влияние процессов контактной теплопередачи на кинематику процесса прессования латуней. // Кузнецы Урала-2005, Екатеринбург, 2005. С.187-194.
7. Ерманок М.З., Фейгин В.И. Производство профилей из алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1972. 272 с.
8. Gaku Torikaib, Ryutaro Hinob and Fusahito Yoshidab. The effects of temperature and forming speed on the forming limit diagram for type 5083 aluminum–magnesium alloy sheet. Journal of Materials Processing Technology. V. 113, Issues 1-3, 15 June 2001, PP. 648-653.
9. Шуварилова Е.П., Шадрин Г.Г., Клепачевская С.Ю. Исследование механизма разрушения образцов из сплава АМгб с веерной и равноосной структурами. Технология легких сплавов, 1984, №6. С.5-9.